

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第7期 Vol.34 No.7 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 7 期

2014 年 4 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 青藏高原东北部 5000 年来气候变化与若尔盖湿地历史生态学研究进展 何奕忻, 吴宁, 朱求安, 等 (1615)
- 天山云杉森林土壤有机碳沿海拔的分布规律及其影响因素 阿米娜木·艾力, 常顺利, 张毓涛, 等 (1626)

个体与基础生态

- 小兴安岭红松日径向变化及其对气象因子的响应 李兴欢, 刘瑞鹏, 毛子军, 等 (1635)
- 采伐剩余物对林地表层土壤生化特性和酶活性的影响 吴波波, 郭剑芬, 吴君君, 等 (1645)
- 庞泉沟自然保护区典型森林土壤大团聚体特征 白秀梅, 韩有志, 郭汉清 (1654)
- 思茅松天然林树冠结构模型 欧光龙, 肖义发, 王俊峰, 等 (1663)
- 镁缺乏和过量胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 凌丽俐, 黄翼, 彭良志, 等 (1672)
- 斑块生境中食果鸟类对南方红豆杉种子的取食和传播 李宁, 王征, 鲁长虎, 等 (1681)
- 重金属铅与两种淡水藻的相互作用 刘璐, 闫浩, 李诚, 等 (1690)
- 刺参养殖池塘初级生产力及其粒级结构周年变化 姜森颖, 周一兵, 唐伯平, 等 (1698)
- 控(微囊)藻鲢、鳙排泄物光能与生长活性 王银平, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等 (1707)
- 五爪金龙中香豆素类物质含量及其对福寿螺、水稻和稗草的影响 犹昌艳, 杨宇, 胡飞, 等 (1716)

种群、群落和生态系统

- 西双版纳国家级自然保护区勐腊子保护区亚洲象种群和栖息地评价 林柳, 金延飞, 陈德坤, 等 (1725)
- 莱州湾鱼类群落同功能种团的季节变化 李凡, 徐炳庆, 马元庆, 等 (1736)
- 长期不同施肥方式对麦田杂草群落的影响 蒋敏, 沈明星, 沈新平, 等 (1746)
- 极端干旱条件下燕麦垄沟覆盖系统水生态过程 周宏, 张恒嘉, 莫非, 等 (1757)

景观、区域和全球生态

- 流域景观格局变化对洪枯径流影响的 SWAT 模型模拟分析 林炳青, 陈兴伟, 陈莹, 等 (1772)
- 近 20 年青藏高原东北部禾本科牧草生育期变化特征 徐维新, 辛元春, 张娟, 等 (1781)
- 丽江城市不同区域景观美学 郭先华, 赵千钧, 崔胜辉, 等 (1794)
- 珠三角河网水域栅藻的时空分布特征 王超, 李新辉, 赖子尼, 等 (1800)
- 博斯腾湖细菌丰度时空分布及其与环境因子的关系 王博雯, 汤祥明, 高光, 等 (1812)
- 遗传算法支持下土地利用空间分形特征尺度域的识别 吴浩, 李岩, 史文中, 等 (1822)
- 川西亚高山不同海拔岷江冷杉树轮碳稳定同位素对气候的响应 靳翔, 徐庆, 刘世荣, 等 (1831)

基于 ESDA 的西北太平洋柔鱼资源空间热点区域及其变动研究 冯永玖,陈新军,杨铭霞,等 (1841)

城乡与社会生态

基于居民生态认知的非使用价值支付意愿空间分异研究——以三江平原湿地为例.....

..... 高 琴,敖长林,陈红光,等 (1851)

浑河河水及其沿岸地下水污染特征 崔 健,都基众,王晓光 (1860)

社会生态系统及脆弱性驱动机制分析 余中元,李 波,张新时 (1870)

研究简报

等渗 NaCl 和 Ca(NO₃)₂胁迫对黄瓜幼苗生长和生理特性的影响 周 珩,郭世荣,邵慧娟,等 (1880)

专家观点

关于“生态保护和建设”名称和内涵的探讨 沈国舫 (1891)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 282 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-04



封面图说: 红豆杉人工林——红豆杉为常绿针叶乔木,树高可达 25m,属国家一级保护植物。红豆杉中含有的紫杉醇,具有独特的抗癌机制和较高的抗癌活性,能阻止癌细胞的繁殖、抑制肿瘤细胞的迁移,是世界公认的抗癌药。红豆杉在我国共有 4 个种和 1 个变种,即云南红豆杉、西藏红豆杉、东北红豆杉、中国红豆杉和南方红豆杉(变种)。由于天然红豆杉稀缺,国家严禁采伐利用,因而我国南方很多地方都采取人工种植的方法生产利用。人工种植的南方红豆杉在南方山区多呈斑块状分布,斑块生境中鸟类对红豆杉种子的传播有重要的影响。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201305311261

阿米娜木·艾力, 常顺利, 张毓涛, 仇瑶, 何平. 天山云杉森林土壤有机碳沿海拔的分布规律及其影响因素. 生态学报, 2014, 34(7): 1626-1634.
Aminem E L, Chang S L, Zhang Y T, Qiu Y, He P. Altitudinal distribution rule of *Picea schrenkiana* forest's soil organic carbon and its influencing factors. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(7): 1626-1634.

天山云杉森林土壤有机碳沿海拔的 分布规律及其影响因素

阿米娜木·艾力¹, 常顺利^{1,*}, 张毓涛², 仇瑶¹, 何平¹

(1. 新疆大学资源与环境科学学院绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐市 830046;

2. 新疆林科院森林生态研究所, 乌鲁木齐市 830063)

摘要:对森林土壤有机碳库含量的估测及其影响因素的研究一直是学术界关注的热点。在水热梯度上可能会存在森林土壤有机碳的分布规律,但多数在混交林内开展的工作因无法区分群落类型变化的影响而无法准确反映出森林土壤有机碳在水热梯度上的变化规律。天山云杉森林为纯林类型,在天山山脉巨大山体上呈带状分布(平均海拔下限 1750 m 至平均海拔上限 2760 m),存在水热梯度,能够排除混交林中群落类型变化对土壤有机碳的影响。因此,在天山云杉森林带按海拔梯度设置系列样地并采样,用重铬酸钾-氧化外加加热法测定土壤有机碳含量并研究土壤有机碳密度沿海拔的分布规律,分析水热配比关系与植物群落(生物量)对该规律的影响。结果表明:①1 m 深度的标准土壤剖面上,各海拔梯度的土壤有机碳密度随着剖面深度的增加呈减少的趋势;②各海拔梯度的有机碳主要集中在土壤表面 0—40 cm 范围内,所占的比例约占全剖面的 60%—70%,具有明显的表聚现象;③在天山北坡中段云杉森林带的海拔下限到海拔上限标准剖面总土壤有机碳密度出现不显著的先下降后上升再下降的双峰变化,峰值出现在海拔 1800—2000 m 与海拔 2400—2600 m,海拔 2600—2800 m 的有机碳密度最小;④云杉纯林在不同海拔的平均胸径呈先减少后增加再减少的趋势,与土壤总有机碳密度变化规律较吻合;⑤天山云杉森林土壤有机碳密度沿海拔的变化是水热梯度变化及受其影响的森林长势二者共同作用的结果。

关键词:土壤有机碳密度;垂直地带性;天山森林;云杉

Altitudinal distribution rule of *Picea schrenkiana* forest's soil organic carbon and its influencing factors

Aminem ELI¹, CHANG Shunli^{1,*}, ZHANG Yutao², QIU Yao¹, HE Ping¹

1 Key Laboratory of Oasis Ecology, College of Resource and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

2 Institute of Forest Ecology, Xinjiang Academy of Forestry, Urumqi 830063, China

Abstract: It has long been a focus of academia to estimate the soil organic carbon content of forests and to study its influencing factors. The forest soil organic carbon distribution may be present on a hydrothermal gradient; however, most work carried out in mixed forests cannot accurately reflect the variation of forest soil organic carbon along the hydrothermal gradient due to an inability to distinguish the effects from multiple community types. The *Picea schrenkiana* forest is a pure forest (lower elevation from 1750m above sea level to 2760m at its upper limit), presenting zonal distribution on the huge Tianshan Mountains with variable soil organic carbon along the hydrothermal gradient. So effects caused by community type changes of mixed forest can be excluded. This study set a series of plots and samples along an altitudinal gradient on *Picea schrenkiana*. It used a potassium dichromate-oxidation external heating method to test soil organic carbon content, discusses

基金项目:国家自然科学基金项目(31060075);国家基础研究发展规划项目(2011CB403201);新疆维吾尔自治区财政林业科技专项资金项目(xjlk(2013)001)

收稿日期:2013-05-31; 修订日期:2013-11-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ecocsl@163.com

the distributional law of soil organic carbon density along the altitudinal gradient, and analyses the impacts of hydrothermal ration and plant community (biomass) on this law. The results showed that: In 1m depth standard soil profile, the soil organic carbon density of each altitudinal gradient presented a decreasing trend with increasing profile depth; the soil organic carbon of each altitudinal gradient was mainly concentrated on the soil surface at a depth of 0—40cm, accounting for about 60%—70% of the whole section. It had obvious surface assembly; the total soil organic carbon density of the standard profile, which peaked on the middle part of the north slope of the Tianshan Mountains' forest, from the lower elevation limit to the upper limit presented an indistinctive bimodal change which decreased, increased and then decreased further. The peaks appeared at an altitude of 1800—2000m and 2400—2600m; the organic carbon density at an altitude of 2600—2800m reached a minimum. The average diameter at breast height of the Tianshan Mountains' forest at different altitudes showed a trend that decreased then increased and then decreased again, consistent with the soil organic carbon density variation law. The variation of soil organic carbon density along the elevation results from the combined action of hydrothermal gradient variation and affected forest growth.

Key Words: soil organic carbon density; vertical zones; Tianshan Mountains' forest; *picea schrenkiana*

土壤有机碳是全球气候变化的敏感指标^[1]。有机碳库的动态变化可对生态系统主要功能、组成和发展方向产生显著的影响^[2],与大气成分进行活性交换的土壤有机碳大约占到陆地生态系统碳的2/3^[3],所以土壤有机碳的微小变化将会极大地缓和或加速大气 CO₂ 浓度的提高,进而改变全球碳循环^[4]。

土壤有机碳来自植物分泌物及残体的归还,其储量主要受植被光合利用率、群落分布、水位波动规律^[5],以及气候、土壤、人类活动等因素的影响^[6-8]。因此,人类活动干扰以及外界环境条件的变化,均可对陆地生态系统土壤有机碳库产生影响^[2]。在山地生态系统研究工作中,很难排除森林类型变化的影响,而只考虑水热梯度变化条件下土壤有机碳的空间分布规律。王海燕^[9]等提出了气候变化影响落叶松-云杉混交林土壤有机碳密度变化情况。王文凡^[10]等提出同一山地不同植被类型土壤有机碳密度存在差异性。

天山是植被类型单一、结构简单的山地生态系统,土壤有机碳的变化受到气候条件与云杉纯林生长趋势的影响。目前针对于具有单一植被类型的山地生态系统进行土壤有机碳密度变化的研究还极少,本研究通过云杉纯林不同海拔平均胸径、树高的调查统计分析与水热配比关系结合在一起,综合考虑气候与单一植被类型云杉纯林的变化对土壤有机碳密度的影响,研究土壤有机碳密度沿海拔的分布规律。为正确评估天山土壤总有机碳密度变化提供

一定的参考,并为该领域研究工作中排除植被的影响而只考虑气候对土壤有机碳变化的研究提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集地概况

以中国森林生态系统研究网络(CFERN)天山森林生态系统定位站研究站(E87°07'—87°28',N43°14'—43°26')为依托进行样品采集。样品采集地位于天山北坡乌鲁木齐县板房沟林场,海拔1800—2800 m,属温带大陆性气候,年总辐射量达5.85×10⁵ J/cm²·a,年均气温约为2—3℃,历年极端最高温为30.5℃,极端最低温为-30.2℃,年降水量400—600 mm,最大积雪深度为65 cm,林下土壤为山地灰褐色森林土。该区植被类型以天山云杉(*Picea Schrenkiana*)纯林为主的温带针叶林,郁闭度介于0.4—0.8,其凋落物的分解是土壤中生成较厚的腐殖质的重要途径。主要地被植物有黑果小檗(*Berberis heteropoda*)、红果小檗(*Berberis nummularia*)、忍冬(*Lonicera* sp.)、天山花楸(*Sorbus tianschanica*)、黑果荀子(*Cotoneaster melanocarpus*)、蔷薇(*Rosa* sp.)、绣线菊(*Spiraea hypericifolia*)、老鹳草(*Geranium dahuricum*)、天山雨衣草(*Alchemilla tianschanica*)、羊角芹(*Aegopodium podagraria*)等^[11]。

1.2 土样采集方法

2011年7月,在水西沟采样区,按照一定的海拔梯度以及土壤颜色的变化情况进行采样区的划分。

从云杉林海拔 1800 m 下限到 2800 m 上限,按每 200 m 一个海拔梯度,在每个梯度内选取了 3 块 20 m×20 m 的样地;在每块样地内,按照 S 型方法布设了 3 个土壤采样点,各挖 1 m 深土壤剖面,分 5 层取土样,共计取得 225 个土样;在每块样地内的 3 个土壤采样点中随机选取一个剖面进行分层环刀取样,分层计算土壤容重,并以此代表该样地的各层土壤容重。样品带回实验室风干后过 2mm 筛,保存备用。

1.3 样地调查方法

在研究区从其森林分布的下限到上限,选取一条东西宽 200 m 的样带,以 50 m 垂直海拔梯度为间隔,设置 20 m×20 m 的固定样地 44 个,对应于各海拔梯度的样方数见表 1。对每个样方进行每木检尺,调查因子主要包括树高、胸径、冠幅、枝下高、病虫害状况等,按胸径、树高对调查数据进行分级统计,结果见表 1。

表 1 样方调查统计表
Table 1 The result of sample plot survey

海拔 Elevation/m	样地数 Plots	株树 Trees	各分级所占的比例 The proportion of each grading/%			
			DBH<10 cm 树高<10 m	10—15 cm 10—15 m	15—20 cm 15—20 m	>20 cm >20 m
1800—2000	8	285	36.14	21.41	15.43	27.02
			38.87	13.07	29.68	18.38
2000—2200	9	331	22.96	22.96	22.05	32.03
			23.56	21.15	33.84	21.45
2200—2400	10	236	25	19.49	17.8	37.71
			30.08	23.73	25	21.19
2400—2600	12	278	34.89	24.1	9.72	31.29
			44.24	31.65	13.68	10.43
2600—2800	5	43	16.28	32.56	27.91	23.25
			79.07	13.95	2.33	4.65

横线上方为各胸径(DBH)径级分级所占比例(%),横线下为各树高分级所占比例(%)

1.4 土样测试方法

土壤总有机碳根据国家标准 GB7857—1987^[12]与 LY/T1237—1999^[13]采用重铬酸钾氧化-外加热法:在外加热条件下(油浴温度为 175—180 ℃、沸腾 5 min)用一定浓度的重铬酸钾-硫酸溶液氧化土壤有机质,剩余的重铬酸钾用硫酸亚铁滴定。通过所消耗的硫酸亚铁标准溶液的体积得有机碳含量。硫酸亚铁标准溶液的体积与有机碳含量的关系式为:

$$W_{c.o} = \frac{\frac{0.8000 \times 5.0}{V_0} \times (V_0 - V_i) \times 0.003 \times 1.1}{m \times k} \quad (1)$$

式中, $W_{c.o}$ 为有机碳含量(g/kg),0.8000 为重铬酸钾标准溶液的浓度(mol/L),5.0 为重铬酸钾标准溶液的体积(mL), V_0 为空白试验消耗硫酸亚铁标准溶液体积(mL), V_i 为土样试验消耗硫酸亚铁标准溶液体积(mL),0.003 为 1/4 碳原子的摩尔质量(g/mmol),1.1 为氧化校正系数,m 为风干土样质量(g),k 为风干土样换算成烘干土样的水分换算系数。

在土壤有机碳含量的基础上,1 m 深度土壤标准

剖面不同层次土壤密度、厚度和非石砾所占的比例相乘得土壤有机碳密度 $SOCD_k$ 。

$SOCD_k = C_k \times D_k \times E_k \times (1 - G_k)/100$ (2)
式中, $SOCD_k$ 为第 k 层土壤有机碳密度(kg/m),k 为土壤层次, C_k 为第 k 层土壤有机碳含量(g/kg), D_k 为第 k 层土壤密度(g/cm³), E_k 为第 k 层土层厚度(cm), G_k 为第 k 层土层中直径大于 2 mm 石砾所占体积百分比(%)。

1.5 生物量计算方法

刘广路^[14]利用相对生长模型建立的天山云杉纯林生物量的回归模型 $W = 0.075352(D^2H)^{0.906442}$ (W 为生物量(kg),D 为胸径(cm),H 为树高(m))。本研究采用此模型,利用不同海拔云杉林标准木的胸径和树高的数据,来估计云杉林单木平均地上生物量。在单木平均地上生物量的基础上,得林份总生物量和单位面积生物量。即林分总生物量=整个研究区标准单木生物量×整个研究区云杉林总株数;单位面积生物量=(单木生物量×云杉林总株数)/样地总面积。

1.6 数据分析方法

气象数据来自李艳忠^[15]等从中科院新疆生地所地理信息系统实验室库所得的数据。综合考虑降水量与温度对植物的影响,分别表征年平均干湿度的 Kira(K1)^[16]干湿指数和修正的生物干湿指数(BK)^[17-19]来表示地表干湿程度,从而判断不同海拔梯度上有机碳密度的变化与气候间的关系。

$$K1 = P / (ET1 + 20) \quad ET1 \leq 100 \quad (3)$$

$$BK = P / (2ET2 + 40) \quad ET2 \leq 80 \quad (4)$$

$$ET1 = \sum_{i=1}^n (t_i - 5) \quad (5)$$

$$ET2 = \sum_{i=1}^n (t_i - 10) \quad (6)$$

式中, P 为年降水量, ET 为有效温度, t_i 为*i*月份的平均温度。

本研究中所得到的数据采用 Excel 图标和 SPSS17.0 统计软件进行多重比较和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 各海拔梯度土壤剖面的有机碳密度变化规律

标准土壤剖面上,各海拔梯度的土壤有机碳密度随着剖面深度的增加呈减少的趋势(图1)。海拔 1800—2000 m 的土壤有机碳密度从 10.76—28.33 kg/m²(平均值为 16.78 kg/m²)减少到 3.12—7.36 kg/m²(平均值为 5.24 kg/m²);海拔 2000—2200 m 的土壤有机碳密度从 9.98—17.92 kg/m²(平均值为 14.80 kg/m²)减少到 2.10—3.13 kg/m²(平均值为 2.60 kg/m²);海拔 2200—2400 m 的土壤有机碳密度从 8.72—11.26 kg/m²(平均值为 11.06 kg/m²)减少到 2.77—4.33 kg/m²(平均值为 3.34 kg/m²);海拔 2400—2600 m 的土壤有机碳密度从 10.68—19.04 kg/m²(平均值为 14.95 kg/m²)减少到 1.94—3.18 kg/m²(平均值为 2.50 kg/m²);海拔 2600—2800 m 的土壤有机碳密度从 11.64—13.20 kg/m²(平均值为 12.19 kg/m²)减少到 1.28—2.52 kg/m²(平均值为 1.75

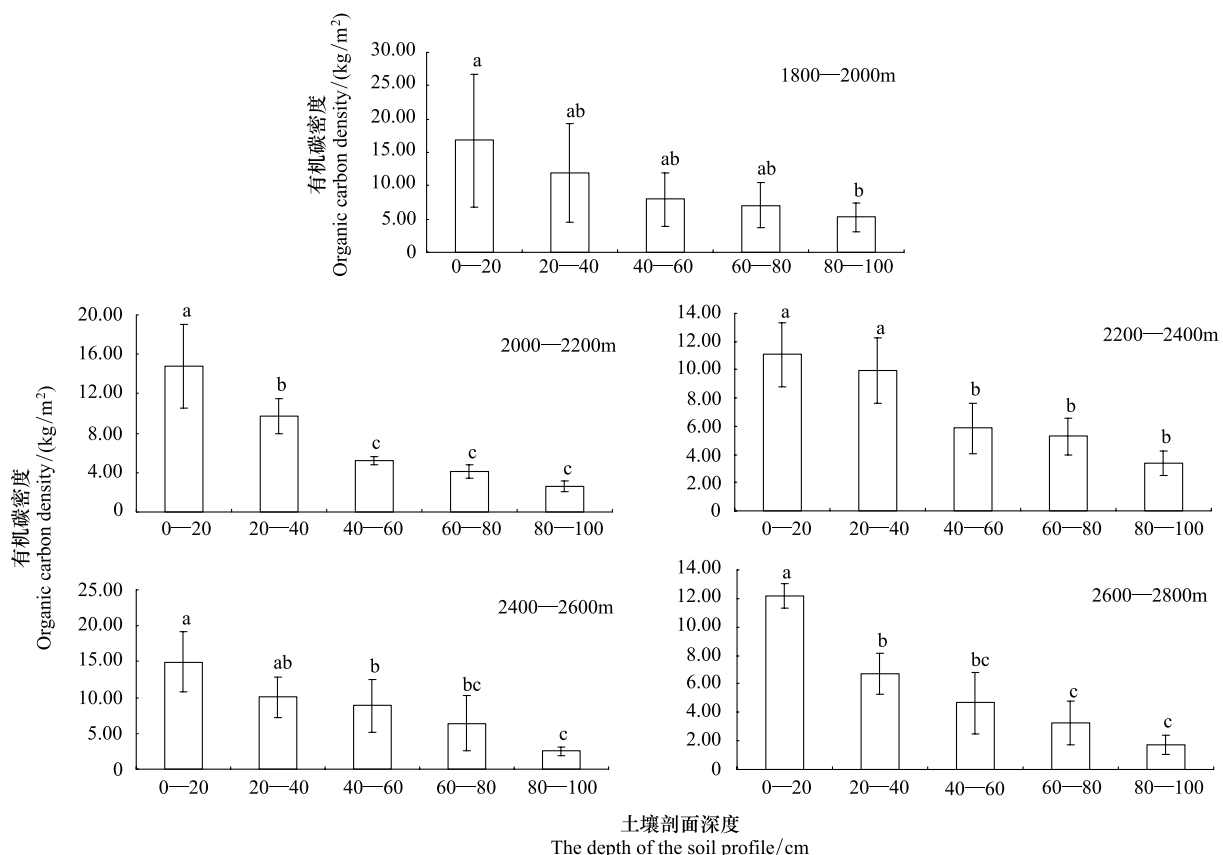


图1 同一海拔不同土层的有机碳密度变化规律

Fig.1 Soil organic carbon density variation of same altitudes at the different depth

kg/m^2)。海拔 1800—2000 m 土壤有机碳密度在标准剖面 0—80 cm 的四个土层中没有显著性差异;海拔 2000—2200 m, 2200—2400 m, 2600—2800 m 的标准土壤剖面 40—100 cm 的 3 个土层中没有显著性差异;海拔 2400—2600 m 的标准土壤剖面 20—80 cm 的 3 个土层中没有显著性差异。虽然不同海拔不同土壤深度有机碳密度的变化不存在显著差异性,但随着土壤深度的加深有机碳密度的整体性变小的趋势遵循了随着土壤深度的增加有机碳密度变小的规律。这与土壤不同深度的理化性质(容重、石砾含量、含水量)、微生物活性和凋落物的分解速率

等有关。

2.2 同层土壤的有机碳密度沿海拔梯度的变化规律

不同海拔梯度标准土壤剖面中同一土层的土壤有机碳密度呈先减少后增加再减少的趋势(图 2)。0—80 cm 的 4 个土层中土壤有机碳密度在海拔 1800—2000 m 和 2400—2600 m 的梯度上出现双峰值,而在 80—100 cm 的土层中海拔 1800—2000 m 和 2200—2400 m 梯度上出现双峰值。不同海拔土壤 0—80 cm 的 4 个土层中土壤有机碳密度的平均值变化无显著性差异,在海拔 1800—2000 m 和 2200—2400 m 两个梯度上 80—100 cm 土层中的土壤有机

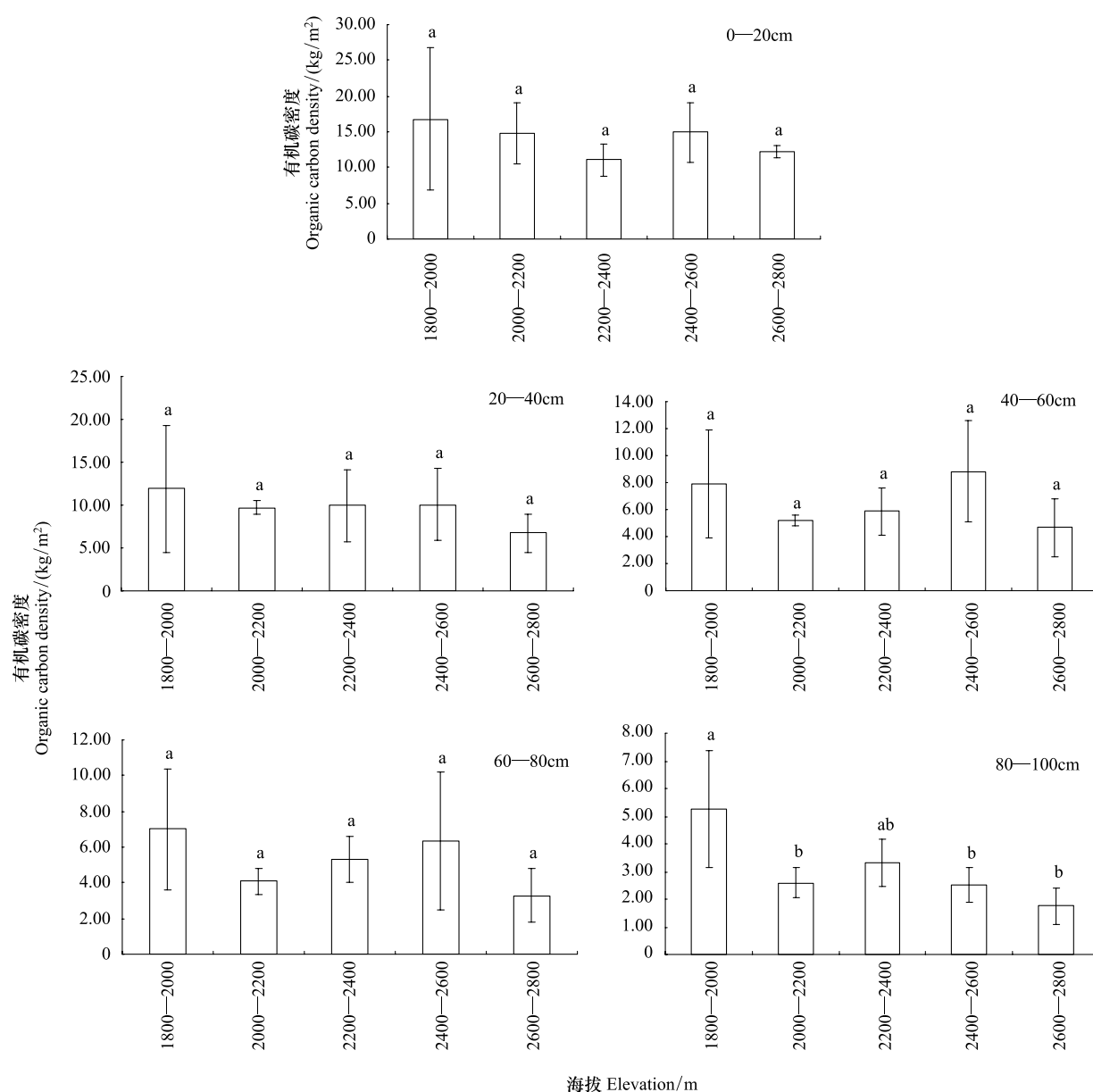


图 2 不同海拔同一土壤深度的有机碳密度变化规律

Fig.2 Soil organic carbon density variation of different altitudes at the same depth

碳密度平均值变化无显著性差别,而海拔 2200—2400 m 和其余的 3 个海拔梯度的土壤有机碳密度平均值无显著性差别。每个海拔梯度上同一土壤剖面土壤有机碳密度的变化规律最终导致从海拔下线到海拔上线的总有机碳密度呈现出先减少后增加再减少的趋势。

标准土壤剖面中土壤有机碳主要储存在于土壤表层中(图 3)。0—20 cm 土层有机碳密度占全剖面所含的有机碳密度比例从 30%(2200—2400 m)增加到 43%(2600—2800 m);20—40 cm 的比例从 25%(1800—2000 m)增加到 30%(2600—2800 m);最下 3 层所占的比例为 25%到 40%,可见土壤表层有机碳密度占全剖面的比例超过一半以上。这主要是以“表聚现象”所致^[15],即植物的凋落物归还于土壤表层,在表层形成较厚的凋落叶层,经分解在土壤表层富集有机质从而形成相应大的有机碳密度。

2.3 总土壤有机碳密度沿海拔的变化规律

随着海拔梯度的增加总土壤有机碳密度呈先减少后增加再减少的趋势(图 3)。总土壤有机碳密度平均在 28.59—48.87 kg/m² 之间,其中 1800—2000

m 海拔总有机碳密度最高,而海拔 2600—2800 m 的最低,整个变化趋势来看,各海拔有机碳密度变化没有显著性差异。

3 结论与讨论

研究区的植被类型是以天山云杉纯林为主,可以避免受到其它植被的干扰,所以气候条件和云杉纯林的分布、长势是影响土壤有机碳密度变化的主要因素。

3.1 影响有机碳密度沿海拔分异的气候因素

气候的变化通过影响天山云杉纯林的生长,凋落物的累积和分解而直接影响到土壤有机碳在不同海拔梯度上的分布情况。各海拔随着梯度的增加年均温度逐渐降低,到了 2470 m 左右时年均温度为零;随着海拔梯度的增加年均降水量出现先升高再下降的趋势(图 3)。

在不同海拔梯度上土壤有机碳密度的变化与气候单因素降水量和温度具有一定的相关性(表 2),根据 Pearson 相关系数的分析,所知土壤有机碳密度变化跟降水量呈负相关,而跟温度变化呈正相关。

表 2 土壤有机碳密度与气候要素和地表干湿度指数之间的相关矩阵

Table 2 The correlation matrix between the soil total organic carbon density and climatic factors surface humidity index					
	总有机碳密度 Total organic carbon density/(kg/m ²)	降水量 Precipitation/ mm	温度 Temperature/℃	Kira 干湿度指数 K1	修正的生物 干湿度指数 BK
总有机碳密度/(kg/m ²) Total organic carbon density	1				
降水量 Precipitation/mm	-0.688	1			
温度 Temperature/℃	0.680	-0.448	1		
Kira 干湿度指数 K1	-0.805	0.879 *	-0.820	1	
修正的生物干湿度指数 BK	-0.428	0.615	-0.202	0.499	1

P<0.05

由于仅仅利用气候的单因素不能对不同海拔土壤总有机碳密度变化的影响进行估测,因此,考虑综合指标地表干湿度指数对土壤有机碳密度的影响。为了能更好地评价气候要素对植被的影响,选取了最热月 7 月份的均温,此月森林带上下线相差为 8.3℃,大于年均温,是对 Kira 干湿度指数和修正的生物干湿度指数的变化作用较大的温度。由于不同海拔月均温不同,所以 K1 和 BK 存在一定的差异(表 3)。

由于土壤总有机碳密度随海拔的变化情况跟地表干湿度指数有关,所以气候的变化导致不同海拔

梯度上土壤总有机碳密度的差异性,即 K1 和 BK 与总土壤有机碳密度具有相关性(表 2)。

在此基础上进一步分析不同海拔梯度气候与土壤总有机碳密度间的相关性后发现,土壤有机碳密度跟地表干湿度指数具有负相关,表明温度和降水各指标与土壤有机碳密度变化的作用在所有云杉纯林区均具有同步性。

3.2 影响有机碳密度沿海拔分异的群落因素

天山北坡的云杉林分布的上限和下限受温度和降水的综合影响^[20-21],乔木的胸径和树高能较好地

指示森林带温度和降水特征^[22-23],也是影响土壤有机碳密度变化的重要指标,所以在研究区对不同海拔的树木进行每木调查,绘制了不同海拔树木胸径与树高关系的曲线图(图3)。由图3可知,从海拔

下限 1800 m 到海拔上限 2800 m,平均树高从 14.99 m 降低到 8.25 m;平均胸径从海拔下限到海拔上限出现了先下降后增加再下降的趋势,跟不同海拔土壤总有机碳密度变化趋势大体上保持一致。

表 3 不同海拔地表干湿度指数
Table 3 The surface dry humidity index at different altitudes

海拔 Elevation/m	7 月均温/℃ July average temperature	有效温度 ET1	有效温度 ET2	Kira 干湿度指数 K1	修正的生物干湿度指数 BK
1500	18.98	13.98	8.98	11.42	7.92
2000	15.06	10.06	5.06	18.06	12.05
2200	13.82	8.82	3.82	18.32	23.14
2600	11.34	6.34	1.34	18.79	11.97
2700	10.72	5.72	0.72	19.01	12.01

ET1 为 5℃ 以上的有效温度; ET2 为 10℃ 以上的有效温度

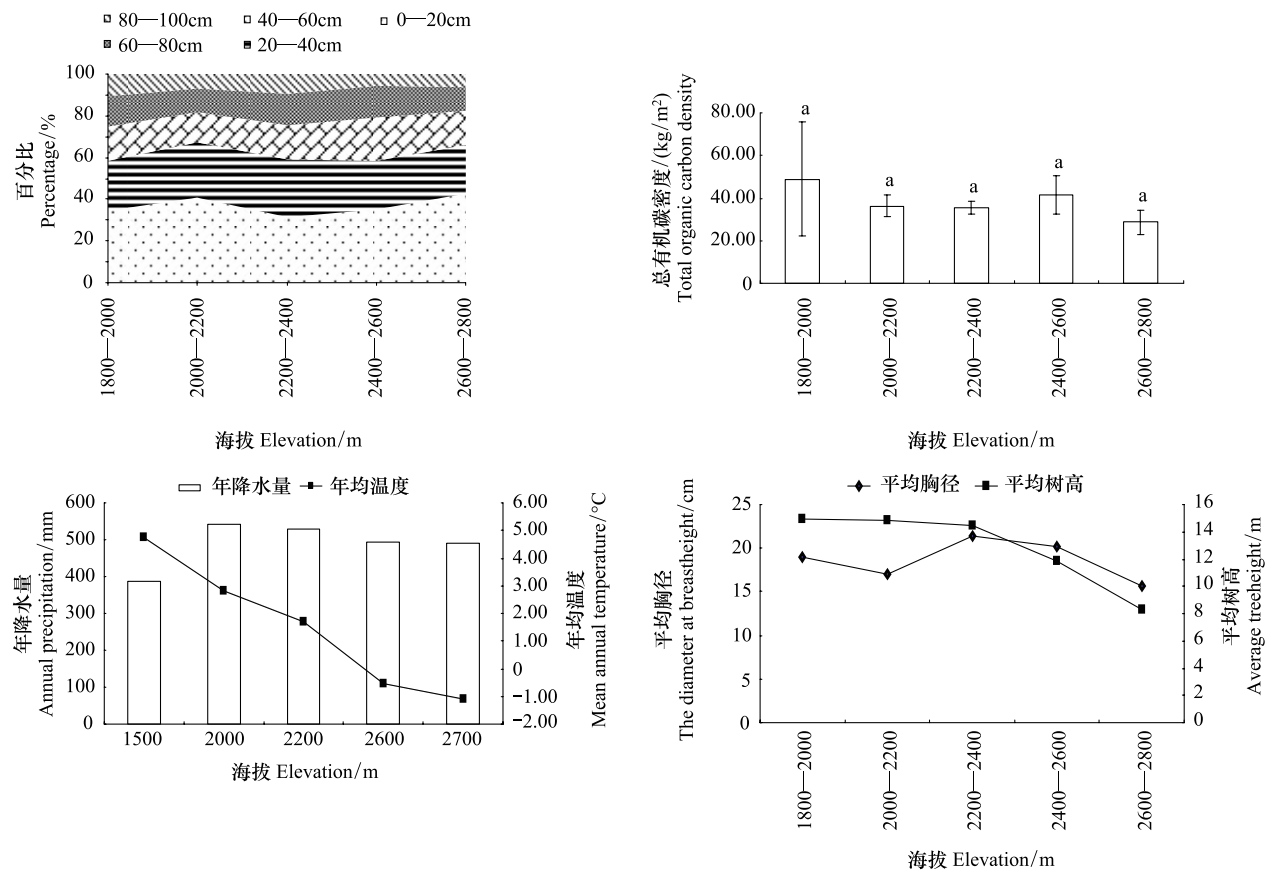


图 3 各层土壤有机碳密度占全剖面的百分比与不同海拔总土壤有机碳密度,年降水量,年均温度以及云杉林平均胸径树高的变化规律

Fig.3 Layers of soil organic carbon density as a percentage of the total cross-section and total organic carbon density, annual pricipitation, mean annual temperature, *Picea schrenkiana* DBH and tree height variation with different altitude

生物量是一定时间,一定空间一种或数种生物有机体总干物质的重量^[24],也是量度生态系统碳汇和碳素循环的关键数据^[25]。对植物群落生物量进行研究,可以揭示生态系统中养分循环功能过程的

变化规律^[26]。因此,按照符合天山云杉林生物量的估测模型,对各海拔云杉林地上生物量进行估算(表4),发现地上生物量呈随着海拔梯度的增加逐渐减少的趋势。海拔 1800—2000 m 的最高,而 2600—

2800 m 的最低。最高和最低含量跟有机碳密度变化情况保持一致。

土壤有机碳密度变化与生物量存在紧密的联系。通过不同海拔云杉林单位面积上的生物量与有机碳密度的 Pearson 相关性分析 ($P < 0.05$), 得生物量与有机碳密度呈正相关 (相关系数为 0.768)。即生物量的变化规律可直接反应土壤有机碳密度的变化规律。

表 4 不同海拔云杉林地上生物量

Table 4 Aboveground biomass of spruce forest at different altitudes

海拔 Elevation/m	平均胸径 Average DBH/cm	平均树高 Average tree height/m	生物量 Biomass/ (kg/m ²)
1800—2000	18.98	14.99	21.62
2000—2200	17.08	14.89	17.67
2200—2400	21.37	14.41	16.07
2400—2600	20.12	11.83	11.35
2600—2800	15.71	8.25	2.70

3.3 影响有机碳密度沿海拔分异因素的综合分析

土壤总有机碳密度的变化是气候与树高、胸径共同作用的结果, 因此导致不同海拔梯度有机碳密度大小存在差异性。海拔 1800—2000 m 平均树高最高、平均胸径占第 3 位, 而 BK 相对整个海拔梯度而言较小, 云杉林生物量最高, 所以此梯度含有的有机碳密度最大。海拔 2200—2400 m BK 最大, 云杉林平均胸径最高、平均树高占第 3 位, 导致生物量的降低, 因此, 所具有的有机碳密度不是最多。海拔 2400—2600 m 平均胸径占第 2 位、平均树高占第 4 位, 生物量跟平均树高的地位一样占第 4 位, 对于整个研究区而言 BK 最小, 导致有机碳密度在整个梯度上占第 2 位。海拔 2600—2800 m 虽然 BK 相对而言较小, 但是平均胸径、平均树高和生物量都均最低, 所以土壤有机碳密度最小。

3.4 结论

本文通过不同海拔梯度云杉林的株树、平均胸径、树高调查与李艳忠^[15]等提出的森林带发育于与气候土壤的关系时所提供的气象数据的基础上, 对天山北坡水西沟区土壤有机碳密度与影响因素气候和云杉纯林胸径和树高的关系进行了探讨。结果表明:

(1) 1m 深度的标准土壤剖面上, 各海拔梯度的土壤有机碳密度随着剖面深度的增加呈减少的趋

势。平均有机碳密度从海拔 1800—2000 m 10—20 cm 土壤深度的 16.78 kg/m² 减少到海拔 2600—2800 m 土壤深度 80—100 cm 的 1.75 kg/m²。不同海拔各层土壤有机碳密度不显著, 都出现先下降后增加再下降的趋势, 导致总土壤有机碳密度具有同样的变化趋势。海拔 1800—2000 m 所具有的有机碳密度最大 (48.87 kg/m²), 其次是海拔 2400—2600 m (41.66 kg/m²), 2600—2800 m 的最小 (28.59 kg/m²)。

(2) 土壤有机碳主要集中在土壤表面 (0—40 cm)。出现“表聚现象”, 土壤表面所具有的有机碳密度所占的比例 (60%—70%) 超过总有机碳密度的一般以上。

(3) 不同海拔云杉林的平均胸径、树高以及气候水热配比关系均出现一定的变化, 土壤有机碳密度的变化跟生物量成正比而跟地表干湿度指数成反比关系。云杉林的生长趋势与气候的共同影响下导致不同海拔土壤有机碳密度差异性存在。

References:

- [1] Xiao H L. Climate change in relation to soil organic matter. *Soil and Environmental Sciences*, 1999, 8(4): 304-304.
- [2] Wang B, Sun G, Luo P, Wang M, Wu N. Labile and recalcitrant carbon and nitrogen pools of an alpine meadow soil from the eastern Qinghai-Tibetan Plateau subjected to experimental warming and grazing. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(6): 1506-1514.
- [3] Post W M, Emanuel W R, Zinke P J, Stangenberger A G. Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, 1982, 298(5870): 156-159.
- [4] Yang Y S, Xie J S, Sheng H, Chen G S, Li X, Yang Z J. The impact of land use/cover change on storage and quality of soil organic carbon in midsubtropical mountainous area of southern China. *Journal of Geographical Sciences*, 2009, 19(1): 49-57.
- [5] Zang Q J, Yu X B, Qian J X, Xiong T. Distribution characteristics of plant communities and soil organic matter and main nutrients in the Poyang Lake Nanji Wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(12): 3656-3669.
- [6] Bouwman A F. Global distribution of the major soils and land cover types // *Soils and the Greenhouse Effect*. Chichester: John Wiley & Sons, 1990: 33-59.
- [7] Davidson E A, Trumbore S E, Amundson R. Biogeochemistry: soil warming and organic carbon content. *Nature*, 2000, 408(6814): 789-790.
- [8] Nichols J D. Relation of organic carbon to soil properties and

- climate in the southern great plains. Soil Science Society of America Journal, 1984, 48(6): 1382-1384.
- [9] Wang H Y, Lei X D, Zhang H R, Yang P. Soil organic carbon in semi-natural mixed larch-spruce-fir stands of northeastern China. Journal of Beijing Forestry University, 2009, 31(3): 11-16.
- [10] Wang W F, Liu B F, Liu G J, Liang S Y, Liu Y. Comparison of soil organic carbon contents of typical stand types in Xiaoxing'anling. Forestry Science & Technology, 2011, 36(1): 17-19.
- [11] Zhang Y T, Chang S L, Lu J J, Li X, Wang Z, Shi Q D, Zhang X P. Large scale permanent plot developed and its three-dimension realized in Tianshan forest. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(10): 179-183.
- [12] Liu G S, Jiang N H, Zhang L D, Liu Z L. Soil Physical and Chemical Analysis & Description of Soil Profiles. Beijing: Standards Press of China, 1996: 166-167.
- [13] LY/T1237—1999. Determination of organic matter in forest soil and calculation of carbon-nitrogen ratio. Beijing: State Forestry Administration, 1999.
- [14] Liu G L. The Study on the Growth Rule of *Picea schrenkiana* var. Tianshanica and the Productivity of Communities in Tianshan [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2006.
- [15] Li Y Z, Luo G P, Xu W Q, Yin C Y, Han Q F, Feng Y X. Forest development and their relationships with climatic and soil in the mid-mountain area of Sangong river watershed, northern slope of Tianshan mountains. Journal of Mountain Science, 2011, 29(1): 33-42.
- [16] Yim Y, Kira T. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula. I. Distribution of some indices of thermal climate. Japanese Journal of Ecology, 1975, 25(2): 77-88.
- [17] Yim Y, Kira T. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula. II. Distribution of climatic humidity/aridity. Japanese Journal of Ecology, 1976, 26(3): 157-164.
- [18] Xu W D. The relation between distribution of edifier and companion in zonal vegetation and water-temperature condition in Northeast China. Journal of Integrative Plant Biology, 1983, (3): 264-274.
- [19] Ni J. Development of Kira's indices and its application to vegetation-climate interaction study of China. Chinese Journal of Applied Ecology, 1997, 8(2): 161-170.
- [20] Zhu H F, Wang L L, Shao X M, Fang X Q. Tree ring-width response of *Picea schrenkiana* to climate change. Acta Geomorphica Sinica, 2004, 59(6): 863-870.
- [21] Sang W G, Wang Y X, Su H X, Lu Z H. Response of tree-ring width to rainfall gradient along the Tianshan Mountains of northwestern China. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(21): 2954-2962.
- [22] Chen S Y, Guo J Y, Han T, Shi Y Y. Climate warming of autumn air temperature in arid and semiarid Regions in Northwest China over the recent 46 years. Journal of Desert Research, 2009, 29(3): 544-550.
- [23] Luo R Y. Forest Soil Science (Problems and Methods). Beijing: Science Press, 1983.
- [24] Wen J C. Tree size distribution functions of four boreal forest types for biomass mapping. Forest Science, 2004, 50(4): 436-439.
- [25] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, Noguer M, van der Linden P J, Dai X, Maskell K, Johnson C A. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 94-94.
- [26] Krebs C J. Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance. New York, London: Harper-Collins College Publishers, 2001: 513-536.

参考文献:

- [2] 王蓓, 孙庚, 罗鹏, 王萌, 吴宁. 模拟升温 and 放牧对高寒草甸土壤有机碳氮组分和微生物生物量的影响. 生态学报, 2011, 31(6): 1506-1514.
- [5] 张全军, 于秀波, 钱建鑫, 熊挺. 鄱阳湖南矶湿地优势植物群落及土壤有机质和营养元素分布特征. 生态学报, 2012, 32(12): 3656-3669.
- [9] 王海燕, 雷相东, 张会儒, 杨平. 近天然落叶松云冷杉林土壤有机碳研究. 北京林业大学学报, 2009, 31(3): 11-16.
- [10] 王文帆, 刘滨凡, 刘广菊, 梁素钰, 刘禹. 小兴安岭典型林分类型土壤有机碳含量状况比较分析. 林业科技, 2011, 36(1): 17-19.
- [11] 张毓涛, 常顺利, 芦建江, 李翔, 王智, 师庆东, 张新平. 天山云杉森林 8hm²样地的建立及三维可视化管理. 林业科学, 2011, 47(10): 179-183.
- [12] 刘广崧, 蒋能慧, 张连第, 刘兆礼. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996: 166-167.
- [13] LY/T1237—1999. 森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算. 北京: 国家林业局, 1999.
- [14] 刘广路. 天山云杉生长规律与天山植物群落生产力研究 [D]. 保定: 河北农业大学; 硕士毕业论文, 2006.
- [15] 李艳忠, 罗格平, 许文强, 尹昌应, 韩其飞, 冯异星. 天山北坡三工河流域中山带森林发育与气候土壤的关系. 山地学报, 2011, 29(1): 33-42.
- [18] 徐文铎. 东北地带性植被建群种及常见种的分布与水热条件关系的初步研究. 植物学报, 1983, (3): 264-274.
- [19] 倪健. Kira 指标的拓展及其在中国植被与气候关系研究中的应用. 应用生态学报, 1997, 8(2): 161-170.
- [20] 朱海峰, 王丽丽, 邵雪梅, 方修琦. 雪岭云杉树轮宽度对气候变化的响应. 地理学报, 2004, 59(6): 863-870.
- [22] 陈少勇, 郭江勇, 韩通, 石圆圆. 中国西北干旱半干旱区近 46 a 秋季气候变暖分析. 中国沙漠, 2009, 29(3): 544-550.
- [23] 罗汝英. 森林土壤学(问题和方法). 北京: 科学出版社, 1983.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.7 Apr., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The 5000-year climate change of northeastern Qinghai-Tibetan Plateau and historical ecology of Zoige wetlands HE Yixin, WU Ning, ZHU Qiu'an, et al (1615)
- Altitudinal distribution rule of *Picea schrenkiana* forest's soil organic carbon and its influencing factors Aminem ELI, CHANG Shunli, ZHANG Yutao, et al (1626)

Autecology & Fundamentals

- Daily stem radial variation of *Pinus koraiensis* and its response to meteorological parameters in Xiaoxing'an mountain LI Xinghuan, LIU Ruipeng, MAO Zijun, et al (1635)
- Effects of logging residues on surface soil biochemical properties and enzymatic activity WU Bobo, GUO Jianfen, WU Junjun, et al (1645)
- Characteristics of soil macroaggregates under typical forests in Pangquangou Nature Reserve BAI Xiumei, HAN Youzhi, GUO Hanqing (1654)
- Modeling tree crown structure of Simao pine (*Pinus kesiya* var. *langbianensis*) natural forest OU Guanglong, XIAO Yifa, WANG Junfeng, et al (1663)
- Influence of magnesium deficiency and excess on chlorophyll fluorescence characteristics of Newhall navel orange leaves LING Lili, HUANG Yi, PENG Liangzhi, et al (1672)
- Seed foraging and dispersal of Chinese yew (*Taxus chinensis* var. *mairei*) by frugivorous birds within patchy habitats LI Ning, WANG Zheng, LU Changhu, et al (1681)
- Interactions between heavy metal lead and two freshwater algae LIU Lu, YAN Hao, LI Cheng, et al (1690)
- Annual variations of the primary productivity and its size-fractioned structure in culture ponds of *Apostichopus japonicus* Selenka JIANG Senhao, ZHOU Yibing, TANG Boping, et al (1698)
- Growth and photosynthetic activity of *Microcystis* colonies after gut passage through silver carp and bighead carp WANG Yinping, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (1707)
- Contents of two coumarins in *Ipomoea cairica* and their effects on *Pomacea canaliculata*, *Orzya sativa*, and *Echinochloa crusgalli* YOU Changyan, YANG Yu, HU Fei, et al (1716)

Population, Community and Ecosystem

- Population and habitat status of Asian elephants (*Elephas maximus*) in Mengla Sub-reserve of Xishuangbanna National Nature Reserve, Yunnan of China LIN Liu, JIN Yanfei, CHEN Dekun, et al (1725)
- Seasonal changes of functional guilds of fish community in Laizhou Bay, East China LI Fan, XU Bingqing, MA Yuanqing, et al (1736)
- Effect of long-term fertilization pattern on weed community diversity in wheat field JIANG Min, SHEN Mingxing, SHEN Xiping, et al (1746)
- Ecological process of water transformation in furrow and ridge mulching system in oat field under extreme drought scenario ZHOU Hong, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (1757)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Simulations and analysis on the effects of landscape pattern change on flood and low flow based on SWAT model LIN Bingqing, CHEN Xingwei, CHEN Ying, et al (1772)
- Phenological variation of alpine grasses (Gramineae) in the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau, China during the last 20 years XU Weixin, XIN Yuanchun, ZHANG Juan, et al (1781)
- Landscape aesthetics in different areas of Lijiang City GUO Xianhua, ZHAO Qianjun, CUI Shenghui, et al (1794)
- Temporal and spatial pattern of *Scenedesmus* in the river web of the Pearl River Delta, China WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (1800)

- Spatiotemporal dynamics of bacterial abundance and related environmental parameters in Lake Bosten WANG Bowen, TANG Xiangming, GAO Guang, et al (1812)
- Scale domain recognition for land use spatial fractal feature based on genetic algorithm WU Hao, LI Yan, SHI Wenzhong, et al (1822)
- Relationships of stable carbon isotope of *Abies faxoniana* tree-rings to climate in sub-alpine forest in Western Sichuan JIN Xiang, XU Qing, LIU Shirong, et al (1831)
- An exploratory spatial data analysis-based investigation of the hot spots and variability of *Ommastrephes bartramii* fishery resources in the northwestern Pacific Ocean FENG Yongjiu, CHEN Xinjun, YANG Mingxia, et al (1841)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Spatial differentiation research of non-use value WTP based on the residents' ecological cognition: taking the sanjiang plain as a case GAO Qin, AO Changlin, CHEN Hongguang, et al (1851)
- Contamination characteristics in surface water and coastal groundwater of Hunhe River CUI Jian, DU Jizhong, WANG Xiaoguang (1860)
- Social ecological system and vulnerability driving mechanism analysis YU Zhongyuan, LI Bo, ZHANG Xinshi (1870)
- Research Notes**
- Effects of iso-osmotic $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and NaCl stress on growth and physiological characteristics of cucumber seedlings ZHOU Heng, GUO Shirong, SHAO Huijuan, et al (1880)
- View Point**
- The discussion about the designation and content of ecological conservation and construction SHEN Guofang (1891)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 魏辅文

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 7 期 (2014 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 7 (April, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行人

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元